VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

5 Verificări la stări limită ultime

5.1 Introducere

Verificările la stări limită ultime curpind verificările de rezistență, la transfer şi în faza finală, verificările de stabilitate de formă şi verificarea la oboseală.

În acest capitol vor fi discutate numai verificările de rezistență pentru tiranți şi grinzi, precum şi verificarea la oboseală.

Vor fi considerate numai cazurile când armătura pasivă poate fi neglijată (adică, după STAS 10107/0-90, $A_a < 0,25A_p$).

5.2 Verificarea de rezistență în secțiuni normale : Întindere pură

Verificarea la întindere pură se face cu relația :

$$T_{max} \leq mA_pR_p \qquad (5.1)$$

unde m este un coeficient de siguranță, care ține cont de ruperea fragilă a elementelor de beton precomprimat, şi care ia valoarea $0,85$ exceptând elementele liniare (tiranți, bare ale grinzilor cu zăbrele de beton precomprimat), pentru care $m = 0,75$.

5.3 Verificarea de rezistență în secțiuni normale : Încovoiere

Ipotezele pentru calculul de rezistență la încovoiere sunt similare celor utilizate în calculul betonului armat, cu unele particularități privind curbele caracteristice şi valorile deformațiilor limită ale materialelor :

- ipoteza secțiunilor plane : secțiunile plane rămân planes până la rupere, dacă se consideră deformațiile medii ;
- efectul betonului întins nefisurat situat sub axa neutră est neglijat ;
- nu există lunecare relativă între beton şi armătură ;
- curba caracteristică a betonului este « parabola-dreptunghi » (vezi [4]), dar cu o deformație ultimă $\varepsilon_{bu} = 0,003$.
- curba caracteristică a armăturilor este cea dată în capitolul 2, cu o deformație limitată la :

$$\bar{\varepsilon}_l = \bar{\varepsilon}_0 + 0,01$$

Este admisă utilizarea unei diagrame dreptunghiulare pentru betonul comprimat, cu o înălțime echivalentă egală cu 0,8 din valoarea reală (vezi figura 5.1).

Pentru a asigura deformații suficiente care să avertizeze iminența ruperii, înălțimea zonei comprimate este limitată după cum urmează :

- elemente cu armătură preîntinsă : $\xi_{lim} = 0,40$
- elemente cu armătură postîntinsă : $\xi_{lim} = 0,35$
- elemente cu placă în zona comprimată : $\xi_{lim} = 0,30$

unde $\xi = x/h_{0p}$

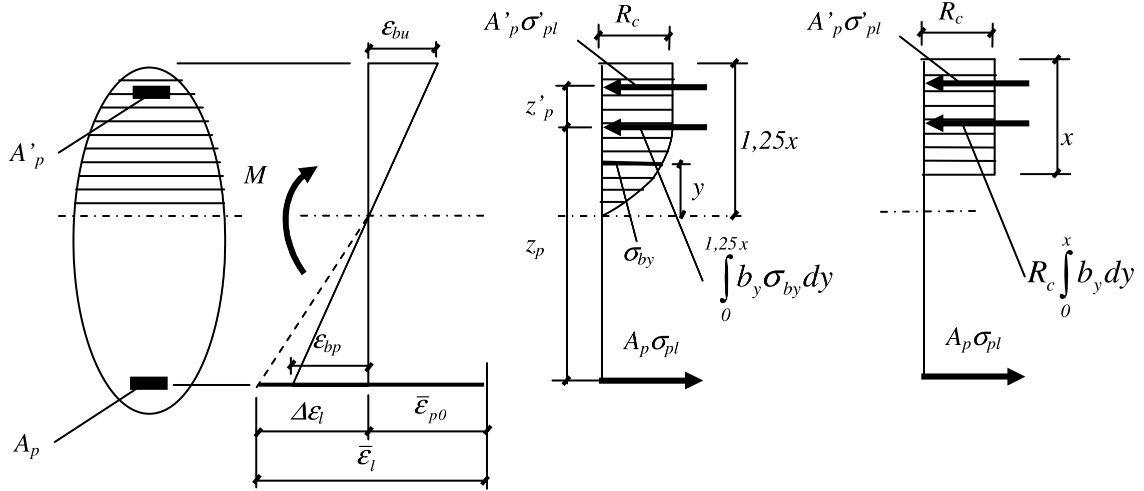


Figura 5.1 – Starea de eforturi şi de deformaţii la SLU a secţiunii de beton precomprimat solicitată la încovoiere

Ecuaţiile de echilibru sunt :

$$\int_0^{1,25x} b_y\sigma_{by}dy = A_p\sigma_{pl} - A'_p\,\sigma'_{pl} \tag{5.2}$$

$$M = m\left(A_p\sigma_{pl}z_p + A'_p\,\sigma'_{pl}\,z'_p\right) \tag{5.3}$$

unde

$$z_p = h_{0p} - 1,25x + y_b \tag{5.4}$$

şi

$$z'_p = h_{0p} - y_b \tag{5.5}$$

cu

$$y_b = \frac{\int_0^{1,25x} b_y\sigma_{by}\,y\,dy}{\int_0^{1,25x} b_y\sigma_{by}dy} \tag{5.6}$$

Ipoteza secţiunilor plane dă :

$$\Delta\varepsilon_l = \frac{1}{\psi}\cdot\frac{h_{0p}-1,25x}{1,25x}\cdot\varepsilon_{bu} \le 0,01 \tag{5.7}$$

Deformaţia în armătură este :

$$\varepsilon_l = \Delta\varepsilon_l + \bar{\varepsilon}_{p0} = \Delta\varepsilon_l + \frac{0,9\bar{\sigma}_{p0}^{min}}{E_p} \tag{5.8}$$

Efortul unitar în armătură este :

$$\sigma_{pl} = f(\varepsilon_{pl}) \qquad (5.9)$$

cu f definit în capitolul 2.

Coeficientul m ia valorile următoare :

- pentru armături din PC 90 : $m = 1$ (5.10a)
- pentru armături din SBP sau TBP : $m = 0,95(1\text{-}0,3\xi) \geq 0,85$ (5.10b)

Efortul unitar în armătura A'_p este luat în calcul cu următoarele valori :

- dacă $x > 2a'_p$ $\sigma'_{pl} = 400\ MPa - 1,1\,\overline{\sigma}_{p0}^{max}$ (5.11a)
- dacă $x \leq 2a'_p$ $\sigma'_{pl} = -\,1,1\,\overline{\sigma}_{p0}^{max}$ (5.11b)

În ecuațiile precedente se ține cont, în cazul când $x > 2a'_p$, de deformația în betonul comprimat, evaluată la *0,002*.

Methodă simplificată

Dacă armătura pretensionată este distribuită pe mai puțin de o treime din înălțimea secțiunii, se poate utiliza o formulă aproximativă pentru calculul efortului unitar σ_{pl} în armătura situată în zona întinsă A_p :

$$\sigma_{pl} = m_p A_p \qquad (5.12)$$

cu :

$$m_p = 1 - k \cdot \frac{A_{pk}}{bh_{0p}} \cdot \frac{R_p}{R_c} \qquad (5.13)$$

Coeficientul k ia următoarele valori :

- preîntindere : $k = 0,30$;
- postîntindere : $k = 0,60$;

b = lățimea inimii grinzii la nivelul axei neutre ;
A_{pk} = fracțiunea armăturii A_p care echilibrează compresiunea din betonul situta în zona comprimată A_{bk} de lățime b (figura 5.2).

Calculul coefcientului m_p ar fi dificil fără formulele date în Tabelul 17 din STAS 10107/0-90. Aceste formule acoperă majoritatea cazurilor curente. Vom da mai jos, cu titlu de exemplu, formulele coeficientului m_p pentru situațiile *a)* și *c)* din figura 5.2 :

– secțiune dreptunghiulară (fig. 5.2a) :

$$m_p = 1 - k\alpha_p \tag{5.14}$$

– secțiune în formă de (fig. 5.2c) :

$$m_p = \frac{1-k\alpha_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2 + k\frac{(b_p - b)h_p}{bh_0}} \tag{5.15}$$

unde :

$$\alpha_p = \frac{A_p}{bh_{0p}} \cdot \frac{R_p}{R_c}$$

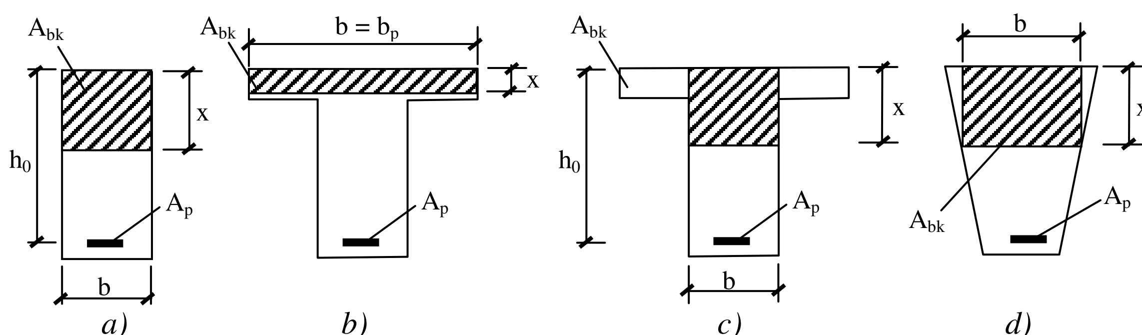


Figura 5.2 – Definiția ariei A_{bk} pentru câteva tipuri de secțiuni

5.4 Verificarea de rezistență la forță tăietoare

Limitarea eforturilor unitare de forfecare

– Dacă $\sigma_{b1} \leq 0{,}5R_t$ pe toată lungimea fisurii înclinate, nu este necesar să se verifice secțiunea la acțiunea momentului încovoietor şi a forței tăietoare ; armătura transversală se dispune pe criterii constructive.

Efortul principal de întidere σ_{b1} este calculat sub acțiunea încărcărilor corespunzând stării limită de rezistență, cu relațiile :

$$\sigma_{b1} = \frac{\sigma_b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_b^2} \tag{5.16}$$

şi

$$\tau_b = \frac{(Q - Q_p)S_{bi}}{bI_{bi}} \tag{5.17}$$

unde :

σ_b = efort unitar normal în beton (pozitiv dacă este de întindere) ;

τ_b = efort unitar tangențial ;
Q = forță tăietoare sub acțiunea încărcărilor corespunzând stării limită de rezistență ;
Q_p = componenta verticală a forței de precomprimare în cablurile înclinate $= 0,9\sum A_{pi}\overline{\sigma}_{p0}\ sin\alpha$;
S_{bi} = moment static al părții din secțiunea omogenă echivalentă situat deasupra fiberi unde este calculat τ_b ;
I_{bi} = moment de inerție al secțiunii omogene echivalente ;

– Secțiunea de beton trebuie să îndeplinească condiția :

- în cazul elementelor cu armătură preîntinsă

$$(Q\text{-}Q_p) \le 0,25\ bh\ R_c \qquad (5.18a)$$

- în cazul elementelor cu armătură postîntinsă

$$(Q\text{-}Q_p) \le 0,30\ bh\ R_c \qquad (5.18b)$$

Verificarea la forță tăietoare

Condi,tia de verificare este :

$$Q - Q_p \le Q_b + Q_e + \frac{M\ tan\,\beta}{z_p} \qquad (5.19)$$

unde :

Q_b = forța tăietoare preluată de beton $= \dfrac{2bh_0^2 R_t}{s_i}$ (5.20)

Q_e = forța tăietoare preluată de etrieri $= \sum_{s_i} n_e A_{ae} m_{at} R_{at} = q_e s_i$ (5.21)

cu notațiile :

s_i = proiecția fisurii înclinate pa axa grinzii ;
n_e = numărul de ramuri a etriererului într-o secțiune ;
A_{ae} = aria secțiunii etrierului ;
R_{at} = rezistența de calcul a armăturii transversale ;
m_{at} = coeficient care ține cont de deformația inegală a etrierilor care traversează fisura înclinată (*0,8* pentru etrieri din OB 37, *0,7* pentru etrieri din STNB).
q_e = forța tăietoare preluată de etrieri pe unitatea de lungime = Q_e / a_e ;
a_e = distanța între etrieri ;
β = unghiul între la fața inferioară şi superioară a grinzii ; pozitiv dacă înălțimea secțiunii creşte în acelaşi sens cu momentul încovoietor *M*.

Înclinarea cea mai defavorabilă a fisurii (care dă rezistența minimă) se determină prin încercări, pentru valori ale s_i cuprinse între :

$$0{,}5h \leq s_i \leq 2{,}5h \qquad (5.22)$$

Valoarea s_i poate poate fi de asemenea determinată punând condiția de minim în raport cu s_i a funcției $Q_b + Q_e$ (vezi capitolul 10 al cursului de beton armat [4]).

Verificarea la încovoiere în secțiuni înclinate

Trebuie verificată condiția următoare (vezi figura 5.3) :

$$M \leq 0{,}85(A_p\sigma_{pl}z_p + \Sigma\, A_{pi}\sigma_{pl}z_i) + \Sigma A_{ae}R_{at}z_e \qquad (5.23)$$

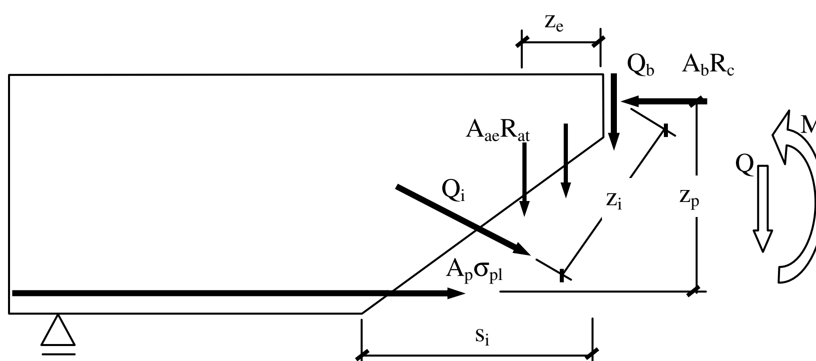


Figura 5.3 – Echilibrul forțelor şi solicitărilor întro secțiune înclinată

5.5 Verificarea de rezistență la transfer

La transfer, elementul de beton precomprimat se găseşte sub acțiunea :

- forței de precomprimare ;
- momentului încovoietor dat de greutatea proprie a elementului.

El este supus unei încovoieri negative (figura 5.4), opusă încovoierii pozitive sub încărcările de exploatare. Situația este mai defavorabilă când forța de precomprimare ia valoarea sa maximă.

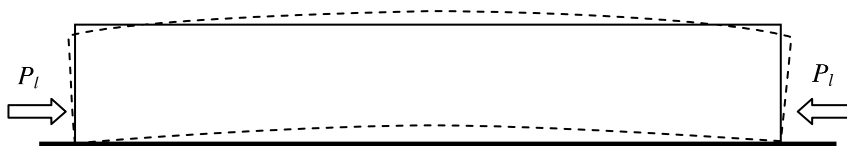


Figura 5.4 – Contrasăgeată a elementului sub acțiunea precomprimării la transfer

În consecință, valoarea precomprimării este determinată cu formula :

$$P_l = (A_p + A'_p)\sigma'_{pl} \qquad (5.24)$$

unde :

- preîntindere : $\sigma'_{pl} = 1{,}1\sigma_{p0} - 300\ MPa$ (5.25a)
- postîntindere : $\sigma'_{pl} = 1{,}1\sigma_{pp}$ (5.25b)

Efortul unitar în armături (σ_{p0} , respectiv σ_{pp}) este calculat cu valorile minime ale pierderilor de tensiune.

În cazul preîntinderii, trebuie ținut cont de scurtarea elastică a betonului (maxim 0,002) care dă o pierdere de tensiune de circa $0{,}002 \cdot 200000 = 400\ MPa$. Se ias însă o valoare acoperitoare de *300 MPa*.

Calculul de rezistență este un calcul la compresiune excentrică. Dacă armătura pasivă de pe partea întinsă este mai multă decât procentul minim de armare, calculul trebuie făcut ca pentru beton armat, altminteri calculul trebuie făcut ca pentru beton simplu.

Pentru elementele de beton simplu, supuse la acțiunea unei cforțe de compresiune cu excentrcitate mică sau medie ($e_{0c} \le x_0$), verificarea se face cu relația :

$$P_l \le A_{bc} R_c \qquad (5.26)$$

unde :

A_{bc} = aria de beton comprimat.

Această arie se obține punând condiția ca centrul său de greutate să fie acelaşi cu centru de presiune (punctul de aplicație al lui P_l – vezi figura 5.5).

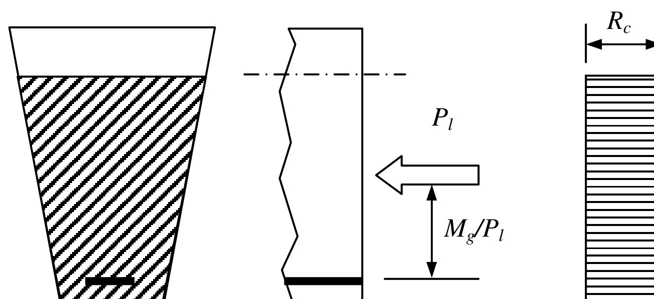


Figura 5.5 – Starea limită ultimă a unei secțiuni la transfer

Rezistența de calcul R_c este cea care corespunde clasei echivalente de beton la transfer. Aceasta din urmă se obține în funcție de rezistența betonului la transfer R_{b0}, care este prevăzută în proiect, cu ajutorul tabelului de echivalare următor :

Tabelul 5.1 - Clase echivalente de rezistență în funcție de R_{b0} (STAS 10107/0-90)

R_{b0}	25	28	32	35	38	42	45	49	52
Clasa convențională de beton la transfer Bc*	17	20	24	27	30	33	36	40	42

5.6 Verificarea la oboseală

Comportarea la oboseală este este foarte bună dacă secțiunea nu fisurează sub încărcări de exploatare (precomprimare totală –vezi capitolul 6).

Condițiile de verificare impuse prin STAS 10107 asigură o comportare nefisurată sub încărcările considerate în calculul la oboseală.

Într-adevăr, eforturile unitare în beton sunt limitate după cum urmează :

– eforturi unitare normale minime (compresiune) :

$$\left|\sigma_b^{\lim}\right| \geq 0{,}1\sigma_{b,transfer}^{\max} \qquad (5.27a) \qquad \text{dar} \qquad \left|\sigma_b^{lim}\right| \leq 1MPa \qquad (5.27b)$$

(pentru rosturile elementelor asamblate prin precomprimare $\left|\sigma_b^{lim}\right| = 1MPa$)

– eforturi unitare normale maxime (compresiune) :

$$\left|\sigma_b^{lim}\right| \leq R_{co} \qquad (5.28)$$

– eforturi principale de întindere :

$$\sigma_{b1} \leq R_t \qquad (5.29)$$

– contraintes principales de compression :

$$|\sigma_{b2}| \leq R_{co} \qquad (5.30)$$

unde :

R_{co} = rezistența betonului la oboseală (vezi [4]).

Calculul eforturilor unitare se face pe secțiunea omogenă echivalentă nefisurată, după regulile de la rezistența materialelor.

Precomprimarea este lută în calcul cu un coefcient de imprecizie egal cu *0,9*.